昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, October 2014, 57(10): 1219 -1226　　ISSN 0454-6296

以冷冻和新鲜家蝇蛹为寄主的蝇蛹俑小蜂实验种群生命表参数比较

朱承节，贺　张，陈　伟，张仕林，胡好远*

（安徽师范大学生命科学学院，安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室，安徽芜湖 241000）

摘要：【目的】为了阐明以冷冻保存家蝇 *Musca domestica* 蛹为寄主对繁殖蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* 的影响。【方法】本研究分别利用新鲜和 -20℃冷冻保存的家蝇蛹为寄主，记录了小蜂日存活数、日后代数量和性别等，并分别构建了实验种群生命表，分析比较了两种类型家蝇蛹对小蜂寄生率、日后代数量和性比、生命表参数等的影响。【结果】与新鲜家蝇蛹为寄主时相比，小蜂在以冷冻蛹为寄主时寄生率、后代数量和雄性百分比均较低($P<0.01$)，成蜂寿命和产卵期差异不大($P>0.05$)。在以新鲜和冷冻家蝇蛹为寄主时，小蜂寄生率和后代数量均随日龄的增加而显著降低($P<0.01$)；以新鲜和冷冻家蝇蛹为寄主时小蜂的净生殖率(R_0)分别为 34.91 和 20.16，种群内禀增长率(r_m)分别为 0.17 和 0.11，均以寄生新鲜家蝇蛹时较大($P<0.01$)；在以冷冻家蝇蛹为寄主时，世代时间和种群倍增时间较以新鲜家蝇蛹为寄主时有所延长($P<0.01$)。【结论】蝇蛹俑小蜂可以利用冷冻家蝇蛹为寄主完成生活史；在规模化繁殖蝇蛹俑小蜂时，使用冷冻方式保存家蝇蛹的方法具有重要价值。

关键词：蝇蛹俑小蜂；家蝇；生命表；寄生蜂；寄主保存；生活史；冷冻家蝇蛹；新鲜家蝇蛹

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2014)10-1219-08

Comparison of life table parameters of the laboratory population of *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) on frozen-killed and fresh housefly pupae

ZHU Cheng-Jie, HE Zhang, CHEN Wei, ZHANG Shi-Lin, HU Hao-Yuan* (Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui Province, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract:【Aim】This study aims to illustrate the effects of using frozen-preserved housefly (*Musca domestica*) pupae as hosts on the reproduction of *Spalangia endius*.【Methods】The survival number, offspring number and sexes of *S. endius* on fresh housefly pupae and the housefly pupae frozen killed and preserved at -20℃, respectively, were recorded daily, and the life tables were built. The effects of host types on the parasitism rate, offspring number and sex ratio, and parameters of life table were compared and analyzed.【Results】The results showed that the parasitism rate, offspring number, and male proportion of *S. endius* on the frozen-killed housefly pupae were lower than those of wasps on the fresh housefly pupae ($P<0.01$). The longevity and oviposition duration of adults were similar between the two groups ($P>0.05$). The parasitism rate and offspring number in both groups decreased with the increasing of female age ($P<0.01$). The net reproductive rate (R_0) of *S. endius* on the fresh housefly pupae and frozen-killed pupae was 34.91 and 20.16, and their intrinsic natural increase (r_m) was 0.17 and 0.11, respectively. R_0 and r_m were both larger on the fresh housefly pupae than on frozen-killed housefly pupae ($P<0.01$). The mean generation time (T) and doubling time (DT) of *S. endius* on the frozen-killed housefly pupae were prolonged compared with those of wasps on the fresh pupae ($P<0.01$).【Conclusion】Our results indicate that *S. endius* can use frozen-killed housefly pupae as hosts to finish life history. We believe that the method of frozen-killed hosts would be useful for massively culturing of *S. endius*.

基金项目：国家自然科学基金项目(31172145)；教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20113424120005)；重要生物资源保护和利用研究安徽省重点实验室基金和大学生创新性实验计划项目(201210370126, 201310370094, 201310370107)

作者简介：朱承节，男，1993 年生，安徽宿松人，2011 级本科生，主要研究方向为寄生蜂生物学习性，E-mail: zhuchengjie1993@126.com

*通讯作者 Corresponding author, E-mail: haoyuanhu@126.com

收稿日期 Received: 2014-04-22；接受日期 Accepted: 2014-08-28

Key words: *Spalangia endius*; *Musca domestica*; life table; parasitoid wasp; host preservation; life history; frozen-killed housefly pupae; fresh housefly pupae

蝇蛹俑小蜂 *Spalangia endius* 属于膜翅目(Hymenoptera)、小蜂总科(Chalcidoidea)、金小蜂科(Pteromalidae),为世界范围内的广布种。该寄生蜂寄主范围包括实蝇科(Tephritidae)、麻蝇科(Sarcophagidae)、丽蝇科(Calliphoridae)、果蝇科(Drosophilidae)、丽蝇科(Calliphoridae)、蝇科(Muscidae)等蝇类害虫。其中家蝇 *Musca domestica*、厩腐蝇 *Muscina stabulans* 等为重要的卫生害虫,瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*、桔小实蝇 *B. dorsalis*、地中海果实蝇 *Ceratitis capitata* 等为重要的果蔬害虫(Noyes, 2002)。在国外该寄生蜂已经被商业化生产,用于对果蝇和家蝇等害蝇治理(Weidhaas *et al.*, 1977; Morgan, 1980; Meyer *et al.*, 1990; Crespo *et al.*, 1998; 徐学农和王恩东, 2007)。在利用蝇蛹俑小蜂开展对害蝇的生物防治时,对寄主进行冷冻保存是一些寄生蜂大量繁殖时常用方法(Geden and Kaufman, 2007; Kaufman and Geden, 2009)。有研究指出,在繁殖蝇蛹俑小蜂时,可以利用冷冻方式保存寄主,以提高繁殖效率(Ogawa *et al.*, 2012)。本研究分别以新鲜和冷冻家蝇蛹为寄主,对蝇蛹俑小蜂的实验种群生命表进行了研究,旨在为该寄生蜂的规模化繁殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 寄生蜂来源和培养

供试家蝇采自安徽师范大学赭山校区食堂附近,并参照何凤琴(2006)的方法进行人工饲养。成蝇饲养于方形养蝇笼内,使用 50 目尼龙网制作长×宽×高为 50 cm×50 cm×50 cm 的养蝇笼。蝇笼侧面开一直径 20 cm 左右的圆孔,圆孔处紧密连接一个相应直径的尼龙网套筒,蝇笼内放置 2 个 200 mL 的塑料杯,一个塑料杯盛放饲养成蝇使用的糖和奶粉混合食物,另一个盛放水。笼内接 1 000 头左右家蝇成蝇。待成蝇饲养 1 周左右后,用含水量 65% 麦麸作为基料置于 9 cm 的培养皿中,放入蝇笼引诱家蝇产卵,以含水量 65% 麦麸作为幼虫饲料,饲养 4~5 d 后,幼虫即将化蛹。使用网孔径为 8 目的不锈钢网筛,辅以光照并喷洒少量水,向下收集获得老龄幼虫,养虫盒内化蛹。

蝇蛹俑小蜂采集于安徽师范大学校园(詹月平等, 2013),经中国科学院动物研究所肖晖副研究员鉴定,并连续在实验室使用新鲜家蝇蛹饲养 2 年左右。饲养该蜂的培养器皿为直径 5 cm、高 9 cm 的透明玻璃杯。蝇蛹和小蜂比例为 10∶1,同时饲以 10% 的蜂蜜水。培养在人工气候箱内进行,温度为 25±1℃,光照强度为 60%(约 2 000 lx)(光周期 14L∶10D),RH 50%±5%。部分小蜂使用冷冻家蝇蛹进行饲养,连续饲养 3 代。

1.2 蝇蛹俑小蜂以冷冻和新鲜家蝇蛹为寄主时的生命表实验

实验分为两组,寄主分别为新鲜和冷冻家蝇蛹,相应的小蜂分别源自新鲜家蝇蛹和冷冻家蝇蛹。供试蝇蛹使用直尺(精确到 0.5 mm)进行测量,挑取大小相近的家蝇蛹(长度为 5.0~5.5 mm),新鲜蛹为化蛹 1-3 日龄蝇蛹;部分挑选后的新鲜蛹保存入 -20℃ 冰柜中,冷冻保存 1 周左右,实验前取出,25℃ 下解冻 2 h 左右。将被蝇蛹俑小蜂寄生 24 h 内的家蝇蛹单头分装于 50 μL 的透明薄壁管中,薄壁管表面使用昆虫针扎以小孔,以保持透气性,收集羽化 24 h 内的羽化个体,雌雄各 1 头置于容量约为 50 mL 的特制透明玻璃小杯中,补充 30 头相应的家蝇蛹,以脱脂棉球沾取 10% 蜂蜜水补充小蜂营养,每 24 h 更换寄主一次,更换后的家蝇蛹收集于直径 1 cm、高 5 cm 的冻存管中,棉塞封口,饲养至寄生蜂羽化。实验持续至所有母代小蜂死亡为止。冷冻蛹和家蝇蛹的实验重复样本量分别为 10 和 12 组,逐日记录各组小蜂存活数、后代数和后代性别,并记录家蝇的数量;待更换的蝇蛹中羽化完成 1 周后,在解剖镜下解剖所有蛹,记录未能成功钻出寄主蛹的寄生蜂后代数量。

1.3 种群生命表等参数计算

数据经过筛选,排除仅产雄性后代的重复组。参照 Carey(1993)的方法构建实验种群生命表,在 Excel 软件中计算获得以下生命表参数:x 期存活分数 l_x、从 x 到 $x+1$ 期的存活分数变化 d_x、从 x 到 $x+1$ 期的存活分数比 p_x、从 x 到 $x+1$ 期的死亡分数比 q_x、从 x 到 $x+1$ 期的存活分数均值 L_x、x 期开始时的平均生命期望 e_x。其中,$l_x = N_x/N_0$,$d_x = l_x - l_{x+1}$,$p_x = l_{x+1}/l_x$,$q_x = 1 - p_x$,$L_x = l_x + l_{x+1})/2$,$e_x = (\sum_{y=x}^{\omega} L_y)/l_x$。

在种群繁殖力方面,计算获得在 x 期的繁殖率

m_x、净生殖率 R_0、内禀增长率 r_m、周限增长率 λ、平均世代时间 T、种群倍增时间 DT。其中 m_x =（从 x 到 $x+1$ 期的后代数）/（从 x 到 $x+1$ 期的存活个体数中间值）；$R_0 = \sum L_x^f m_x^f$（其中 L_x^f 为雌性个体的存活分数，m_x^f 为雌性后代的繁殖率）；r_m 通过公式 $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-rx} L_x^f m_x^f = 1$，在 Excel 中使用逐步逼近法求得；$\lambda = e^{rm}$；$T = ln(R_0)/r_m$；$DT = ln(2)/r_m$。

总寄生率为羽化小蜂后代数和蛹壳内未成功钻出的小蜂数之和除以总蛹数，羽化率为羽化小蜂后代数除以小蜂后代总数，产卵期为小蜂首次和最后一次产卵间隔时间，性比采用雄性百分比。

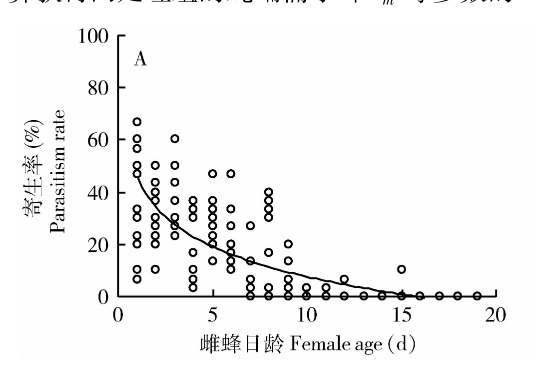
1.4　数据分析

在 R2.13.0 软件（R Development Core Team, 2011）中使用广义线性模型（generalized linear model, GLM）分析了蛹类型和小蜂日龄对寄生率、羽化率、性比、后代数量等影响。数量数据使用泊松分布模型，比例数据使用二项分布模型。建立模型后，根据模型的 *HF*（残差/*df*）值判定数据与泊松分布或二项分布的符合程度。较大的 *HF* 值（$HF > 1$）意味着偏离泊松分布或二项分布，会导致显著性检验程度被高估；用近似泊松分布（quasi-Poisson）或近似二项分布（quasi-binomial）进行模型拟合，对最后获得的模型用 *F* 检验进行分析（Crawley, 2007）。对生命表各参数的统计推断参照 Jackknife 方法（Meyer *et al.*, 1986；陶士强和吴福安, 2006；吴福安等, 2006），计算获得两处理组的蝇蛹俑小蜂 r_m 等参数的精确值，移去其中一个重复组并对余下的（n－1）重复组数据计算获得各参数的“伪值”，利用“伪值”来构建各组的 Jackknife 样本；数据经检验符合正态分布，在 SPSS11.5 软件中使用 *t* 检验进行两处理组间比较。其他分析也使用 SPSS11.5 软件完成。

2　结果

2.1　蝇蛹俑小蜂在不同家蝇蛹上的寄生率和后代数量

分别以新鲜和冷冻家蝇蛹为寄主时，蝇蛹俑小蜂的寄生率变化如图 1 所示。两种寄主上小蜂最大日寄生率分别为 67% 和 43%，可见所提供的寄主充足。以新鲜蛹为寄主时，小蜂平均寄生率为 17% ± 2%，而以冷冻家蝇蛹为寄主时，寄生率为 7% ± 1%；以新鲜家蝇蛹为寄主时，寄生率显著高于以冷冻蛹为寄主时（$F_{1,273} = 52.94$, $P < 0.01$）。随成蜂的寿命延长，寄生蜂寄生率显著下降（$F_{1,272} = 221.23$, $P < 0.01$）；寄主类型和日龄间的交互作用对小蜂寄生率影响显著（$F_{1,271} = 7.74$, $P = 0.006$），这表明两者间影响并非相互独立的，以新鲜蛹为寄主时，寄生率随小蜂日龄而下降的趋势更加明显（图 1）。新鲜和冷冻家蝇蛹两种寄主上小蜂的羽化率分别为 83% ± 2% 和 88% ± 3%（图 2），两者间存在显著差异（$F_{1,175} = 4.23$, $P = 0.04$），日龄对小蜂羽化率不存在显著影响（$F_{1,174} = 1.19$, $P = 0.28$）。



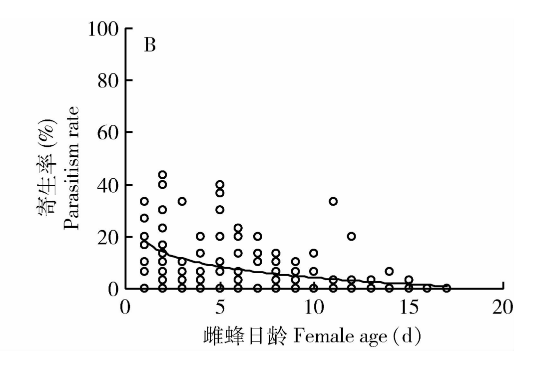


图 1　不同日龄蝇蛹俑小蜂在新鲜家蝇蛹（A）和冷冻家蝇蛹（B）上的寄生率

Fig. 1　Parasitism rate of *Spalangia endius* at different ages on fresh housefly pupae (A) and frozen-killed housefly pupae (B)

成功羽化的小蜂后代数量受寄主类型（$F_{1,273} = 41.85$, $P < 0.01$）和日龄（$F_{1,272} = 202.62$, $P < 0.01$）影响显著。随小蜂日龄的增大，后代小蜂数量显著减少。在新鲜和冷冻寄主上，小蜂后代平均雄性百分比分别为 36% ± 3% 和 21% ± 3%，两者间差异显著（$F_{1,172} = 11.29$, $P < 0.01$），小蜂日龄和蛹类型间对小蜂后代性比存在显著的交互作用（$F_{1,170} = 4.78$, $P = 0.03$），日龄的影响在两种寄主类型中存在差异，以新鲜蛹为寄主时，随日龄增加，小蜂后代性比呈增大趋势（$F_{1,94} = 1.63$, $P = 0.20$），而在以冷冻蛹为寄主时，小蜂后代性比呈减小趋势（$F_{1,76} = 3.92$, $P = 0.051$）（图 3）。

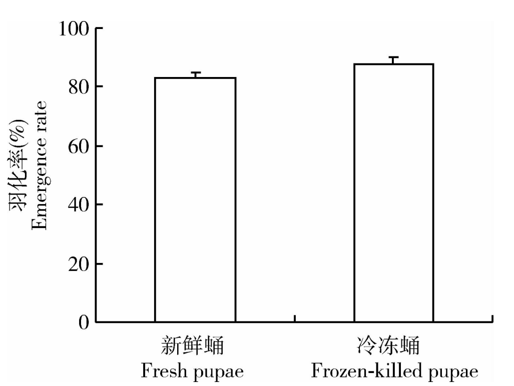



图 2 蝇蛹俑小蜂在新鲜家蝇蛹和冷冻家蝇蛹上的羽化率

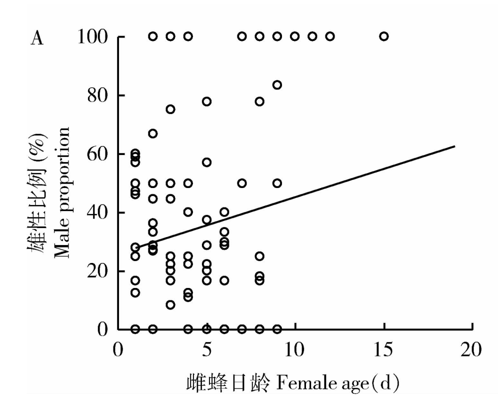
Fig. 2 Emergence rate of *Spalangia endius* on fresh housefly pupae and frozen-killed housefly pupae

2.2 蝇蛹俑小蜂在不同家蝇蛹上的寿命和产卵期

分别以新鲜和冷冻家蝇蛹为寄主时,雌蜂寿命为 13.73 ±3.00 d 和 13.50 ±2.76 d,两者间差异不显著(t_{19} =0.18, P =0.86),雄蜂寿命分别为 7.82 ±3.16 d 和 9.70 ±5.21 d,两者间也无显著差异(t_{19} =1.01, P =0.32)(图 4);雌蜂产卵期分别为 8.73 ±3.26 d 和 9.30 ±2.79 d(图 4),两者间也无显著差异(t_{19} =0.43, P =0.67)。

2.3 蝇蛹俑小蜂在不同家蝇蛹上的实验种群生命表参数和种群动态

表 1 和 2 显示了分别以新鲜家蝇蛹和冷冻家蝇蛹为寄主时蝇蛹俑小蜂的实验种群生命表参数。在以新鲜家蝇蛹为寄主时,雌蜂和雄蜂分别在羽化第 13 和 9 天时(存活 31 d 和 27 d),存活分数 l_x 降低至 50% 以下,雌雄蜂羽化后的生命期望分别为 13.23 d和 7.23 d。在以冷冻家蝇蛹为寄主时,雌蜂和雄蜂分别在羽化第 15 和 11 天(存活 39 d 和 35 d)时,存活率 l_x 降低至 50% 以下;雌雄蜂羽化后的生命期望分别为 13.00 d 和 9.20 d。



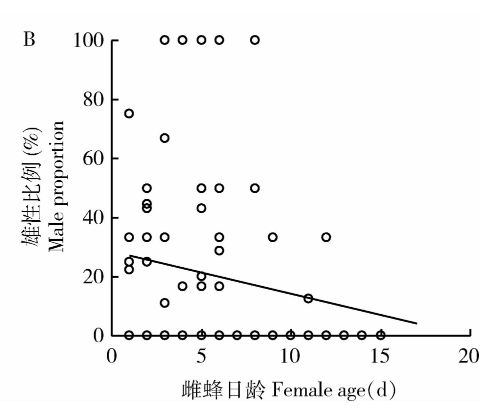


图 3 不同日龄蝇蛹俑小蜂寄生新鲜家蝇蛹(A)和冷冻家蝇蛹(B)时的后代性比

Fig. 3 Offspring sex ratio of *Spalangia endius* at different ages on fresh housefly pupae (A) and frozen-killed housefly pupae (B)

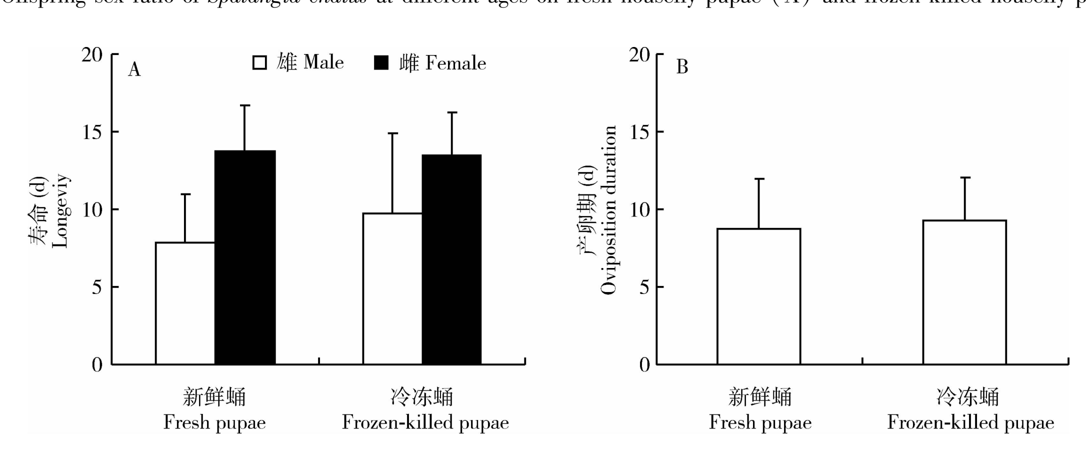


图 4 蝇蛹俑小蜂寄生新鲜家蝇蛹和冷冻家蝇蛹时的雌蜂寿命(A)和产卵期(B)

Fig. 4 Longevity (A) and oviposition duration (B) of *Spalangia endius* female adults on fresh and frozen-killed housefly pupae

在新鲜和冷冻家蝇蛹两种类型寄主上,小蜂繁殖率变化如图 5 所示。在两种类型寄主上,小蜂的净生殖率(R_0)分别为 34.91 和 20.16,种群内禀增长率(r_m)分别为 0.17 和 0.11,周限增长率(λ)分别为 1.18 和 1.11;世代时间(T)分别为 21.48 d 和 28.26 d,种群倍增时间(DT)分别为 4.19 d 和 6.52 d。利用 Jackknife 法对两种类型寄主上的生命表各

表 1　以新鲜家蝇蛹为寄主时蝇蛹俑小蜂的实验种群生命表参数

Table 1　Parameters of *Spalangia endius* laboratory population on fresh housefly pupae

天数 Days	雌 Female							雄 Male						
	N	l_x	d_x	p_x	q_x	L_x	e_x	N	l_x	d_x	p_x	q_x	L_x	e_x
1	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	31.23	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	25.23
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
19	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	13.23	11	1.00	0.09	0.91	0.09	0.95	7.23
20	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	12.23	10	0.91	0.00	1.00	0.00	0.91	6.90
21	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	11.23	10	0.91	0.00	1.00	0.00	0.91	5.90
22	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	10.23	10	0.91	0.00	1.00	0.00	0.91	4.90
23	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	9.23	10	0.91	0.09	0.90	0.10	0.86	3.90
24	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	8.23	9	0.82	0.18	0.78	0.22	0.73	3.28
25	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	7.23	7	0.64	0.00	1.00	0.00	0.64	3.07
26	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	6.23	7	0.64	0.18	0.71	0.29	0.55	2.07
27	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	5.23	5	0.45	0.27	0.40	0.60	0.32	1.70
28	11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	4.23	2	0.18	0.00	1.00	0.00	0.18	2.50
29	11	1.00	0.36	0.64	0.36	0.82	3.23	2	0.18	0.09	0.50	0.50	0.14	1.50
30	7	0.64	0.18	0.71	0.29	0.55	3.79	1	0.09	0.00	1.00	0.00	0.09	1.50
31	5	0.45	0.00	1.00	0.00	0.45	4.10	1	0.09	0.09	0.00	1.00	0.05	0.50
32	5	0.45	0.09	0.80	0.20	0.41	3.10	0						
33	4	0.36	0.00	1.00	0.00	0.36	2.75							
34	4	0.36	0.09	0.75	0.25	0.32	1.75							
35	3	0.27	0.18	0.33	0.67	0.18	1.17							
36	1	0.09	0.00	1.00	0.00	0.09	1.50							
37	1	0.09	0.09	0.00	1.00	0.05	0.50							
38	0													

N：存活数 Number of survived individuals；l_x：x 期存活分数 Survival proportion at age x；d_x：从 x 到 $x+1$ 期的存活分数变化 Difference of survival proportion from age x to $x+1$；p_x：从 x 到 $x+1$ 期的存活分数比 Survival probability from age x to $x+1$；q_x：从 x 到 $x+1$ 期的死亡分数比 The complement of survival probability；L_x：从 x 到 $x+1$ 期的存活分数均值 Mean survival probability from x to $x+1$；e_x：x 期开始时的平均生命期望 Life expectancy at age x. 下表同 The same below.

表 2　以冷冻家蝇蛹为寄主时蝇蛹俑小蜂的实验种群生命表参数

Table 2　Parameters of *Spalangia endius* laboratory population on frozen-killed housefly pupae

天数 Days	雌 Female							雄 Male						
	N	l_x	d_x	p_x	q_x	L_x	e_x	N	l_x	d_x	p_x	q_x	L_x	e_x
1	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	37.00	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	33.20
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
25	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	13.00	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	9.20
26	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	12.00	10	1.00	0.10	0.90	0.10	0.95	8.20
27	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	11.00	9	0.90	0.00	1.00	0.00	0.90	8.06
28	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	10.00	9	0.90	0.10	0.89	0.11	0.85	7.06
29	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	9.00	8	0.80	0.00	1.00	0.00	0.80	6.88
30	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	8.00	8	0.80	0.00	1.00	0.00	0.80	5.88
31	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	7.00	8	0.80	0.20	0.75	0.25	0.70	4.88
32	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	6.00	6	0.60	0.10	0.83	0.17	0.55	5.33
33	10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	5.00	5	0.50	0.00	1.00	0.00	0.50	5.30
34	10	1.00	0.10	0.90	0.10	0.95	4.00	5	0.50	0.10	0.80	0.20	0.45	4.30
35	9	0.90	0.30	0.67	0.33	0.75	3.39	4	0.40	0.10	0.75	0.25	0.35	4.25
36	6	0.60	0.00	1.00	0.00	0.60	3.83	3	0.30	0.00	1.00	0.00	0.30	4.50
37	6	0.60	0.10	0.83	0.17	0.55	2.83	3	0.30	0.10	0.67	0.33	0.25	3.50
38	5	0.50	0.20	0.60	0.40	0.40	2.30	2	0.20	0.00	1.00	0.00	0.20	4.00
39	3	0.30	0.00	1.00	0.00	0.30	2.50	2	0.20	0.00	1.00	0.00	0.20	3.00
40	3	0.30	0.00	1.00	0.00	0.30	1.50	2	0.20	0.00	1.00	0.00	0.20	2.00
41	3	0.30	0.30	0.00	1.00	0.15	0.50	2	0.20	0.10	0.50	0.50	0.15	1.00
42	0							1	0.10	0.10	0.00	1.00	0.05	0.50
43								0						

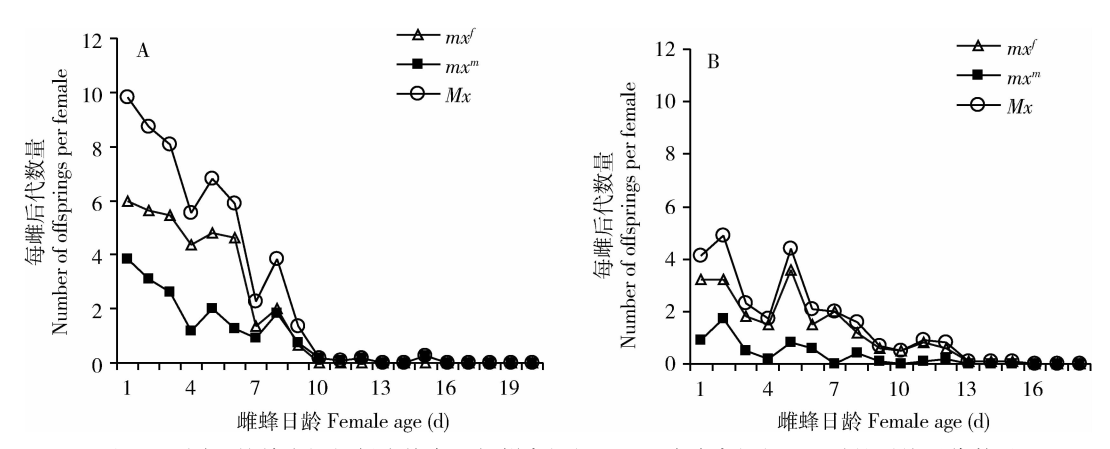


图 5　不同日龄单头蝇蛹俑小蜂寄生新鲜家蝇蛹(A)和冷冻家蝇蛹(B)时的平均后代数量

Fig. 5　Number of offsprings produced per female adult of *Spalangia endius* at different ages on fresh housefly pupae (A) and frozen-killed housefly pupae (B)

m_x^f: x 期的雌性后代繁殖率 Number of female offsprings produced per female in the interval x; m_x^m: x 期的雄性后代繁殖率 Number of male offsprings produced per female in the interval x; M_x: x 期的后代总繁殖率 Total number of offsprings produced per female in the interval x.

参数的统计分析结果表明,在以新鲜家蝇蛹为寄主时,小蜂具有较大的 R_0($t_{19}=26.22$, $P<0.01$)、r_m($t_{19}=63.99$, $P<0.01$)和 λ($t_{19}=64.36$, $P<0.01$),世代时间($t_{19}=146.24$, $P<0.01$)和种群倍增时间($t_{19}=47.11$, $P<0.01$)较短。

3　讨论

已有研究表明,一些寄生蜂可以利用冷冻寄主繁殖后代,如俑小蜂 *S. cameroni*、金小蜂 *Muscidifurax raptor*、丽蝇蛹集金小蜂 *Nasonia vitripennis*、蝇蛹金小蜂 *Pachycrepoideus vindemmiae*、管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani* 等,其中寄生蜂 *M. raptor* 和蝇蛹金小蜂在 −20℃冷冻处理后寄主上的繁殖量与在新鲜寄主上没有显著差异(Petersen and Matthews, 1984; Geden and Kaufman, 2007; 陈倩等, 2007; Kaufman and Geden, 2009; 贺张等, 2013),但丽蝇蛹集金小蜂和 *S. cameroni* 的产量会有所下降(Geden and Kaufman, 2007; Kaufman and Geden, 2009; 张忠等, 2009; Tormos *et al*., 2010)。可见,不同种类的寄生蜂对冷冻寄主的利用效率存在差异。已有研究表明蝇蛹俑小蜂可以利用冷藏保存的家蝇蛹(Rueda and Axtell, 1987; Ogawa *et al*., 2012)。本研究结果也表明,蝇蛹俑小蜂可以利用冷冻家蝇蛹作为寄主完成生活史。蝇蛹俑小蜂为抑寄生性寄生蜂,在寄生时将寄主麻痹致死,并将卵产在蝇蛹的蛹壳与蛹体之间,小蜂幼虫孵化后,以蛹体为食(King, 2000)。虽然经低温冷冻,蛹体的营养成分可能变化不大,冷冻寄主仍可被寄生蜂利用(张忠等, 2009)。有研究指出,在利用冷冻家蝇蛹为寄主时,蝇蛹金小蜂的个体大小与利用新鲜蛹时,差异不大,冷冻蛹繁殖的寄生蜂可能具有与新鲜蛹相近的繁殖力(贺张等, 2013)。

然而,本研究结果还表明,与以新鲜家蝇蛹为寄主相比,在以冷冻家蝇蛹为寄主时,小蜂的寄生率、生殖率、种群增长率等参数相对较低,且世代时间延长。这与已有结果相近,直接冷冻的家蝇蛹会导致蝇蛹俑小蜂繁殖率下降(Rueda and Axtell, 1987; Ogawa *et al*., 2012)。相对于新鲜寄主而言,死亡寄主体内可能更容易干燥,这可能会导致寄生蜂后代死亡率增加(Petersen and Mattews, 1984; Ogawa *et al*., 2012)。冷冻处理后的家蝇蛹在解冻后,也可能具有相对较高的腐烂程度(Geden and Kaufman, 2007; Ogawa *et al*., 2012)。此外,冷冻家蝇蛹还可能在结构上存在一些变化,如适宜于小蜂产卵的位点较少,从而导致更多的产卵失败等(张忠等, 2009)。这些可能是蝇蛹俑小蜂对冷冻处理后寄主利用率下降的重要原因。但本研究结果也发现,在以冷冻家蝇蛹为寄主时,蝇蛹俑小蜂的 r_m 为 0.11,约为以新鲜家蝇蛹为寄主时的 65%;*DT* 为 6.52 d,比以新鲜家蝇蛹为寄主时延长 2 d 左右,表明冷冻后的寄主在蝇蛹俑小蜂繁殖上仍具有一定的价值。虽然以新鲜家蝇蛹为寄主时,蝇蛹俑小蜂具有相对较高的种群增长率,但仍存在大量未被成功寄生的家蝇。而使用冷冻处死后的寄主则可完全杜绝家蝇的羽化,并且寄主可保存较长时间或根据生产需求

来调节使用量，家蝇蛹也可通过市售批量购置冷冻保存。因而使用冷冻方法保存家蝇蛹繁殖蝇蛹俑小蜂具有更高的安全性，有助于寄生蜂繁殖效率的提升（Geden and Kaufman, 2007）。

源自阿根廷的蝇蛹俑小蜂种群生命表结果表明，该寄生蜂寿命为 8.3 d，R_0 为 24.549，r_m 为 0.119，λ 为 1.126，T 为 28.162，DT 为 5.849 d（La Rossa *et al.*, 2002）；Lecuona 等（2007）的结果表明该株系的蝇蛹俑小蜂 r_m 最大可达 0.142，DT 值为 4.894 d。与上述已有结果相比，本研究中利用新鲜家蝇蛹为寄主时，蝇蛹俑小蜂具有较大的 R_0，相对更高的 r_m 和 λ 值；而 T 和 DT 时间也相对较短。这可能是蝇蛹俑小蜂株系间差异所致，也可能受实验条件不一致的影响，如本研究中每天给予的家蝇蛹数量为 30 头，而 La Rossa 等（2002）和 Lecuona 等（2007）的研究中均仅给予 15 头等。与其他已报道的家蝇蛹期寄生蜂相比，*S. gemina* 在利用家蝇蛹时，r_m 值仅为 0.09（La Rossa *et al.*, 2002）；*S. cameroni* 的 R_0 为 20 左右（Moon *et al.*, 1982），可见蝇蛹俑小蜂具有相对较高的种群增长率，即使在以冷冻家蝇蛹为寄主时。

詹月平等（2013）指出在蝇蛹俑小蜂的整个产卵期中，寄生蜂后代性比一般偏雌，但在产卵后期，蝇蛹俑小蜂的雄性百分比呈现增大的趋势。本研究结果也表明，在以新鲜家蝇蛹为寄主时，蝇蛹俑小蜂在产卵后期后代性比趋于增大，一些个体在后期仅产下雄性后代（图 3）。寄生蜂一般为单双倍型性别决定方式，未受精的单倍型卵发育成雄体，而受精的二倍型卵发育成雌体，交配后，精子储存在雌蜂的受精囊中；雄性比例的增加表明蝇蛹俑小蜂可能在产卵后期出现精子枯竭。蝇蛹俑小蜂雌蜂在生活史中常常仅能够交配 1 次，为单配制，虽然蝇蛹俑小蜂在产卵后期，仍可能有雄性个体存在，但雌性后代仅能交配单次，因此出现雌蜂体内精子枯竭（King and Bressac, 2010）。精子枯竭现象在寄生蜂中，可能较多地存在，对寄生蜂 *Uscana semifumipennis*、*Anaphes nitens* 和蝇蛹金小蜂的研究均发现寄生蜂在产卵后期的雄性后代比例增大和精子枯竭现象（Henter, 2004; Santolamazza-Carbone *et al.*, 2007; 陈中正等, 2011; Hu *et al.*, 2012）。然而，在以冷冻家蝇蛹为寄主时，我们并未发现后代性比随产卵者日龄增加而增大的趋势，这可能与小蜂在冷冻寄主上净生殖率（20.16）较低有关，约为新鲜寄主上的 58%。在生活史后期，以冷冻蛹为寄主的小蜂体内可能仍存在交配时获得的精子，可满足成熟卵子受精所需。这也可能是蝇蛹俑小蜂在利用冷冻蛹为寄主时，后代总体雄性百分比较低的主要原因。

综上所述，蝇蛹俑小蜂在利用家蝇蛹时有着较高的繁殖力，对控制家蝇等害虫有着重要价值；冷冻保存家蝇蛹不失为一种有效的寄主保存方式。在利用蝇蛹俑小蜂开展对目标害虫的生物防治过程中，在繁殖蝇蛹俑小蜂时，可以采用将家蝇蛹冷冻保存并根据生产需要解冻供给蝇蛹俑小蜂寄生的方式。

参考文献（References）

Carey JR, 1993. Applied Demography for Biologists: with Special Emphasis on Insects. Oxford University Press, New York.

Chen Q, Liu B, Gao LW, Shen ZR, 2007. Influence of cold storage of *Tenebrio molitor* on the development and reproduction of *Scleroderma guani*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 877－881. [陈倩, 刘冰, 高灵旺, 沈佐锐, 2007. 黄粉甲低温贮存对管氏肿腿蜂发育和繁殖的影响. 昆虫知识, 44(6): 877－881]

Chen ZZ, Liu JB, He Z, Duan BS, Hu HY, 2011. Strategies of *Pachycrepoideus vindemmiae* parasitizing pupae of houseflies. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1765－1769. [陈中正, 刘继兵, 贺张, 段毕升, 胡好远, 2011. 蝇蛹金小蜂对家蝇蛹的寄生策略. 应用昆虫学报, 48(6): 1765－1769]

Crawley MJ, 2007. The R Book. John Wiley and Sons, Chichester.

Crespo DC, Lecuona RE, Hogsette JA, 1998. Biological control: an important component in integrated management of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in caged-layer poultry houses in Buenos Aires, Argentina. *Biological Control*, 13(1): 16－24.

Geden CJ, Kaufman PE, 2007. Development of *Spalangia cameroni* and *Muscidifurax raptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) on live house fly (Diptera: Muscidae) pupae and pupae killed by heat shock, irradiation, and cold. *Environmental Entomology*, 36(1): 34－39.

He FQ, 2006. Massive Rearing of the Houseflies. Jindun Publishing House, Beijing. 39－67. [何凤琴, 2006. 家蝇规模化养殖. 北京: 金盾出版社. 39－67]

He Z, Liu JB, Chen YL, Chen ZZ, Duan BS, Hu HY, 2013. Effects of different treatment methods of housefly pupae for the reproduction of *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(3): 795－800. [贺张, 刘继兵, 陈永玲, 陈中正, 段毕升, 胡好远, 2013. 不同方法处理的家蝇蛹对蝇蛹金小蜂繁殖的影响. 应用生态学报, 24(3): 795－800]

Henter HJ, 2004. Constrained sex allocation in a parasitoid due to variation in male quality. *Journal of Evolutionary Biology*, 17(4): 886－896.

Hu HY, Chen ZZ, Duan BS, Zheng JT, Zhang TX, 2012. Effects of female diet and age on offspring sex ratio of the solitary parasitoid *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani, 1875) (Hymenoptera, Pteromalidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 56(2): 259－262.

Kaufman PE, Geden CJ, 2009. Development of *Spalangia cameroni* and *Muscidifurax raptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) on live and freeze-killed house fly (Diptera: Muscidae) pupae. *Florida Entomologist*, 92(3): 492 – 496.

King BH, 2000. Sperm depletion and mating behavior in the parasitoid wasp *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Great Lakes Entomologist*, 33(2): 117 – 127.

King BH, Bressac C, 2010. No fitness consequence of experimentally induced polyandry in a monandrous wasp. *Behaviour*, 147(1): 85 – 102.

La Rossa FR, Crespo DC, Lecuona RE, 2002. Population parameters of *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) on pupae of *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Neotropical Entomology*, 31(4): 597 – 600.

Lecuona RE, Crespo DC, La Rossa FR, 2007. Populational parameters of *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) on pupae of *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) treated with two strains of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuil. (Deuteromycetes). *Neotropical Entomology*, 36(4): 537 – 541.

Meyer JS, Ingersoll CG, McDonald LL, Boyce MS, 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology*, 67(5): 1156 – 1166.

Meyer JA, Mullens BA, Cyr TL, Stokes C, 1990. Commercial and naturally occurring fly parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) as biological control agents of stable flies and house flies (Diptera: Muscidae) on California dairies. *Journal of Economic Entomology*, 83(3): 799 – 806.

Moon RD, Berry IL, Petersen JJ, 1982. Reproduction of *Spalangia cameroni* Perkins (Hymenoptera: Pteromalidae) on stable fly (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 5(1): 77 – 85.

Morgan PB, 1980. Sustained releases of *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) for the control of *Musca domestica* L. and *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 53(2): 367 – 372.

Noyes JS, 2002. Interactive Catalogue of World Chalcidoidea. Taxapad and the Natural History Museum, London.

Ogawa K, Ito K, Fukuda T, Tebayashi S, Arakawa R, 2012. Host suitability of house fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), pupae killed by high or low temperature treatment for a parasitoid, *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Scientific World Journal*, 2012: 214907.

Petersen JJ, Matthews JR, 1984. Effects of freezing of host pupae on the production of progeny by the filth fly parasite *Muscidifurax zaraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 57(3): 387 – 393.

R Development Core Team, 2011. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Rueda LM, Axtell RC, 1987. Reproduction of Pteromalidae (Hymenoptera) parasitic on fresh and frozen house fly (*Musca domestica* Linn.) pupae. *Philippine Journal of Science*, 116(3): 313 – 326.

Santolamazza-Carbone S, Nieto MP, Rivera AC, 2007. Maternal size and age affect offspring sex ratio in the solitary egg parasitoid *Anaphes nitens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 125(1): 23 – 32.

Tao SQ, Wu FA, 2006. VFP program on variance of life table parameters using jackknife technique. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(2): 262 – 265. [陶士强, 吴福安, 2006. 应用 Jackknife 技术统计昆虫生命表参数变异的 VFP 实现. 昆虫知识, 43(2): 262 – 265]

Tormos J, Beitia F, Alonso M, Asís JD, Gayubo SF, 2010. Assessment of *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) pupae killed by heat or cold as hosts for rearing *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Annals of Applied Biology*, 156(2): 179 – 185.

Weidhaas DE, Haile DG, Morgan PB, Labrecque GC, 1977. Model to simulate control of house-flies with a pupal parasite, *Spalangia endius*. *Environmental Entomology*, 6(4): 489 – 500.

Wu FA, Zhou JX, Yu MD, Wang QL, Xu L, Lu C, Jing CJ, 2006. Statistical inference on the intrinsic rate of increase of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* on different mulberry cultivars (*Morus* L.) under laboratory conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 49(2): 287 – 294. [吴福安, 周金星, 余茂德, 王茜龄, 徐立, 鲁成, 敬成俊, 2006. 不同桑树品种上朱砂叶螨实验种群内禀增长率的统计推断. 昆虫学报, 49(2): 287 – 294]

Xu XN, Wang ED, 2007. Statue and analysis of overseas natural enemies merchandise. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(4): 373 – 382. [徐学农, 王恩东, 2007. 国外昆虫天敌商品化现状及分析. 中国生物防治, 23(4): 373 – 382]

Zhan YP, Zhou M, He Z, Chen ZZ, Duan BS, Hu HY, Xiao H, 2013. Effects of host size and parasitism sequences on the parasitism strategies of *Spalangia endius*. *Acta Ecologica Sinica*, 33(11): 3318 – 3323. [詹月平, 周敏, 贺张, 陈中正, 段毕升, 胡好远, 肖晖, 2013. 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹俑小蜂寄生策略的影响. 生态学报, 33(11): 3318 – 3323]

Zhang Z, Shi WF, Ye GY, Hu C, Yu AL, 2009. Effects of fly pupae cold storage on the parasitization and reproduction of *Nasonia vitripennis*. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 15(1): 28 – 31. [张忠, 史卫峰, 叶恭银, 胡萃, 于爱莲, 2009. 冷冻蝇蛹对丽蝇蛹集金小蜂的寄生和繁殖的影响. 中华卫生杀虫药械, 15(1): 28 – 31]

(责任编辑: 袁德成)